第 38 卷第 9 期
2018 年 5 月

生　态　学　报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.38,No.9
May,2018

DOI: 10.5846/stxb201706131076
王芳,陈芝聪,谢小平.太湖流域建设用地与耕地景观时空演变及驱动力.生态学报,2018,38(9):3300-3310.
Wang F,Chen Z C,Xie X P.Analysis of spatial-temporal evolution and it's driving forces of construction land and cultivated landscape in Taihu Lake Basin. Acta Ecologica Sinica,2018,38(9):3300-3310.

太湖流域建设用地与耕地景观时空演变及驱动力

王　芳,陈芝聪,谢小平*
曲阜师范大学地理与旅游学院, 日照　276826

摘要:以 2000、2010 及 2015 年的土地利用数据集为数据源,利用格网化、景观梯度、Logistic 回归模型及 CLUE-S 模型研究方法,对太湖流域建设用地与耕地景观时空演变特征及驱动机制进行分析。研究结果表明:2000—2015 年间流域内建设用地景观面积增加与耕地景观面积缩减趋势明显,高建设用地景观梯度区主要集中在沪宁线沿途城市地区,并逐渐向周边扩展,尤其是苏州市、无锡市、常州市、上海市以及杭州市周边地区,动态变化程度最为显著,原有大城市中心以及西部和西南部丘陵地区,动态变化幅度相对较小。两种景观类型的变化深受自然环境与社会经济因素的影响,且后者为主要驱动因素。结合 CLUE-S 模型模拟,不同情境下 2030 年两种景观类型时空演变存在显著差异,自然发展情景下高景观梯度值区间的建设用地面积最大;生态保护情景下,建设用地增幅明显降低,但耕地仍大幅缩减,多转为生态用地;而耕地保护情景下高景观梯度值区间的耕地面积最大。研究揭示了流域内耕地被建设用地占用过程的空间规律性,从而为太湖流域土地管理决策及城市规划建设提供依据,对解决流域内经济建设与用地矛盾提供一定的借鉴与参考。

关键词:格网化;景观梯度;时空演变;驱动力;CLUE-S 模型;太湖流域

Analysis of spatial-temporal evolution and it's driving forces of construction land and cultivated landscape in Taihu Lake Basin

WANG Fang,CHEN Zhicong,XIE Xiaoping*
School of Geography & Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276826,China

Abstract: Based on the land-use satellite image datasets of 2000, 2010, and 2015, the grid transformation, landscape gradient, logistic regression model, and CLUE-S model were integrated to analyze the spatial-temporal evolution and driving mechanisms of construction land and cultivated landscape in Taihu Lake Basin. The results showed that the areas of the construction land increased significantly, while the areas of cultivated land decreased in the basin from 2000 to 2015, respectively. The cities and areas along the Shanghai-Nanjing traffic line showed high construction landscape gradient, with construction land gradually expanding to the surrounding areas, especially in the peripheral areas of metropolis. Among them, in Suzhou, Wuxi, Changzhou, Shanghai, and Hangzhou, the areas of construction land and cultivated land changed more prominently. The maximum increase in construction land was 0.92km^2 per unit area, and the proportion of construction land with high landscape gradient ($50 < DI \leq 100$) increased from 3.02% to 31.27%. The maximum diminution of the cultivated land was 0.95km^2. However, the landscape changes for the center of original metropolis and the western and southwestern hilly areas of the basin keep relatively small. Such changes for both landscape types were deeply influenced by the natural environment and socio-economic factors, and the latter were shown to be the dominant driving forces. According to the CLUE-S model simulation, there were significant differences in the spatial-temporal evolution of both landscapes with

基金项目:国家自然科学基金项目(41072164)
收稿日期:2017-06-13;　　**网络出版日期**:2018-01-26
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: xp.xie@263.net

different scenarios in 2030. The area of high construction landscape gradient in the natural developmental scenario would be the largest. Under the ecological protection scenario, the increase in construction land would slow down, but the cultivated land would still be reduced significantly, and most of it would be converted to ecological land. However, the area of high cultivated landscape gradient under the situation of cultivated land protection would be the largest. This study revealed spatial laws of conversion from cultivated land into construction land in Taihu Lake Basin. Thus, these results can provide bases for land management decision-making and urban planning and construction, and can also provide references to resolve the contradiction between economic development and land-use balance.

Key Words: grid transformation; landscape gradient; spatial-temporal evolution; driving forces; CLUE-S model; Taihu Lake Basin

景观生态学中,景观是由不同类型生态系统镶嵌组成、具有重复性格局和高度空间异质性的地理单元[1-2],是具有异质性和斑块性的空间单元[3]。景观格局即形状不一、大小不同的景观要素在空间上的排列和组合,表示景观组成单元的类型、数目及空间分布与配置,是景观异质性的空间表现[4]。景观格局及其时空动态变化研究是景观生态学研究的核心内容和热点问题之一[5-8]。随着城市化进程的推进,建设用地不断扩张,耕地被大量占用。耕地作为最基本的土地资源,在城市化进程中的日益缩减将会对区域生态系统协调带来一定影响[9],而建设用地的空间扩展又是城市化的显著特征[10]。因此建设用地与耕地景观的时空演变成为景观格局研究的热点领域,国内外学者已开展了大量单独研究建设用地与耕地景观时空演变及驱动机制等方面的学术工作[11-15]。

景观格局具有等级性,这主要取决于景观格局对尺度的依赖性,景观格局的尺度效应是正确认识景观格局的前提[16-17]。梯度分析法能够较好展示研究对象在空间上的分布规律,进而更好地分析其在时间维上的演变。近来不少学者将景观生态学与梯度分析相结合,但是多数景观梯度研究是基于样带[16-21]来开展,对于整个研究区的景观梯度研究较少。景观格局演变驱动机制分析也是当前研究的热点[22],在多种驱动因素定量分析方法中,Logistic 回归模型分析具有变量解释性强等特点[23],能够更好的分析多自变量与单一因变量之间的关系[24]。CLUE-S 模型在模拟多种景观类型之间的竞争转移关系上具有显著优势[25-26],且可进行不同情景模拟预测[27-28],更好地实现对未来景观格局的空间表达。鉴于此,本文借助格网化技术,通过景观梯度、动态变化分析及 Logistic 回归模型法,揭示了太湖流域 2000—2015 年间建设用地与耕地景观格局时空演变特征及驱动机制,进一步基于 CLUE-S 模型对不同情景下未来景观格局模拟预测,分析两种景观类型的时空演变差异,从而为太湖流域土地管理决策、可持续利用与发展及城市规划建设提供一定的借鉴与参考。

1　研究区状况及研究数据源

1.1　研究区概况

太湖流域地处 119°11′—121°53′E,30°28′—32°15′N 之间,是长江三角洲地区的核心区域,三面临江滨海一面环山,北抵长江,南与钱塘江、杭州湾毗邻,东临东海,西依天目山、茅山,面积约 3.69 万 km^2。行政区划范围包括江苏省苏南地区,浙江省的嘉兴、湖州二市及杭州市的一部分,上海市的大部分(图 1)。太湖流域地处亚热带,属于亚热带季风气候,夏季高温多雨、冬季温和湿润。地势西高东低,东部为平原,西侧为山地丘陵,呈碟状[29-30]。自然植被以亚热带常绿阔叶林为主,其间也分布有落叶阔叶林及竹林等,主要分布于丘陵、山地。2000 年流域总人口 4313 万人,人口密度超过全国平均值的 6 倍,人均耕地面积仅 0.04hm^2,只及全国平均水平的 40%。太湖流域自然条件优越,经济基础雄厚,人口密集,市场广阔,基础设施和投资环境较好,是我国城市化进程和社会发展最迅速的地区之一。

1.2　数据来源及处理

本文以 2000、2010 及 2015 年的土地利用数据集为数据源,2000 年和 2010 年数据来源于国家地球系统科

学数据共享平台(http://www2.geodata.cn/)。以共享平台原有数据作为分类参照样本,结合太湖流域实际情况、景观特征及研究目的,借助地理空间数据云(http://www.gscloud.cn/)Landsat8 OLI 遥感影像,对遥感数据进行辐射定标、大气校正,再对其进行基于CART决策树分类,精度检验在83%以上,最终解译出2015年太湖流域景观类型数据(图2)。参考国土资源部2007年颁发的《第二次全国土地调查规程》(TD/T1014—2007)[31]及太湖流域景观特征、研究目的,根据共享平台原有数据的分类类别,将研究区分为耕地、林地、草地、建设用地、水域、未利用土地6类一级类型,以此对研究区建设用地与耕地的景观空间梯度分布特征及时空演变进行研究分析。

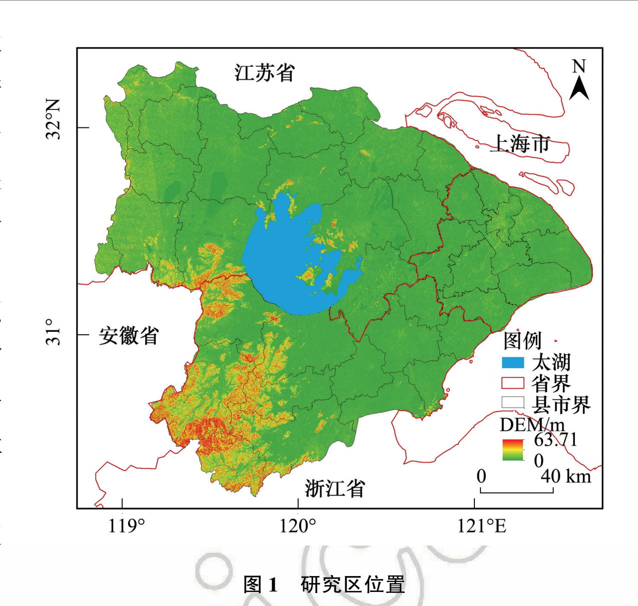


图1 研究区位置

Fig.1 The location of the study area

本着驱动因子选取具有科学性、代表性与可获取性的原则,选取9个驱动因素构建Logistic驱动因子数据库。DEM数据来源于地理空间数据云的ASTER GDEM V2全球数字高程数据,利用DEM数据提取得到坡度数据;GDP与人口数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn/);基于中国基本地理信息数据获得距县市距离、距铁路距离、距高速距离、距县道距离及距河流距离。本文对2000—2010年、2010—2015年两个时间段内的建设用地转入与耕地转出变化进行建模分析,对发生变化与未变化景观分别赋值为1、0,将驱动因子空间处理后栅格化,提取具有空间一致性的多层栅格属性数据,借助SPSS进行Logistic驱动机制分析。

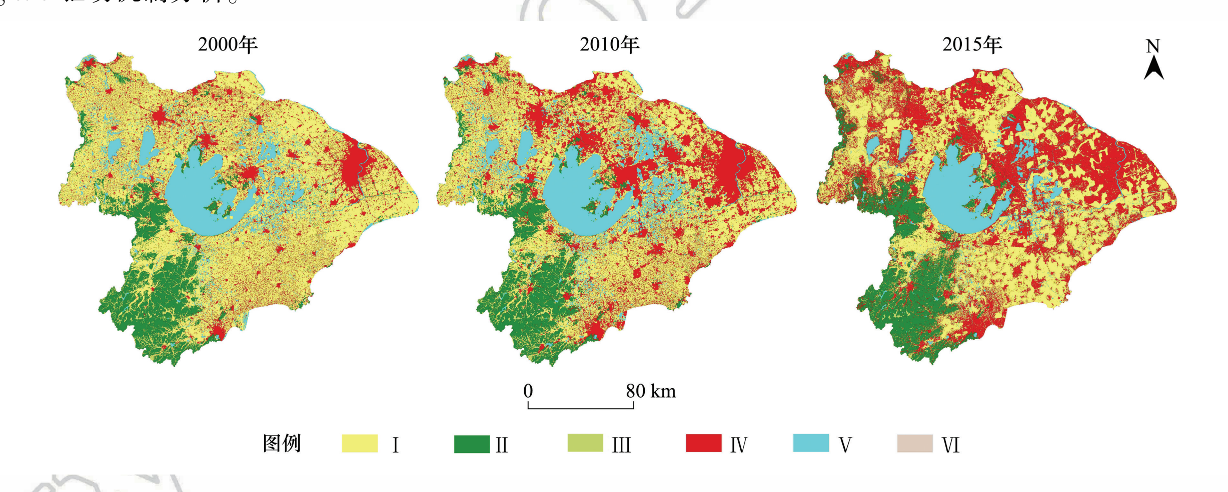


图2 太湖流域景观类型斑块分布图

Fig.2 Distribution of landscape types patches in Taihu Lake Basin

Ⅰ:耕地 Cultivated land; Ⅱ:林地 Forestland; Ⅲ:草地 Grassland; Ⅳ:建设用地 Construction land; Ⅴ:水域 Waters; Ⅵ:未利用土地 Unused land

2 研究方法

2.1 格网法

通过对研究区建立格网,能够把研究区内的某一景观类型缩小到单个研究格网之上,而不是将其均匀地分散到整个研究区上,从而弥补了以流域平均值来表达整个流域景观分布的不足,更加合理地分析流域景观时空演变特征[32]。格网分析方法与方格网大小密切相关,具有尺度效应[33]。参考相关格网景观生态学研

究[34-35],最佳景观样本面积是平均斑块面积的 2—5 倍,确定 6km×6km 格网为基本评价单元。

2.2 景观梯度

景观梯度是指单位格网面积内某一景观类型的面积占有率,能很好地反映景观变化特征及趋势[36-38]。景观梯度值越大表明某种景观类型分布越密集,景观梯度值的时空变化特征反映了某一景观的受干扰过程及退化趋势[36],其表达式为:

$$DI = \frac{CA}{\sum_{i=1}^{n} CA_i} \times 100 \tag{1}$$

式中,DI 为某景观类型梯度值,CA 为单位格网内某景观面积,CA_i 为单位格网内不同类型景观总面积。

本文将空间格网与不同时期建设用地、耕地景观数据进行空间叠加分析,分别计算各格网两种景观类型所占面积百分比,插值得到景观梯度。根据研究区实际情况参考相关研究[36-38],借助 ArcGIS 自然间断法,确定景观梯度等级为 8 级。

2.3 Logistic 回归模型

Logistic 回归模型是对因变量是二分类变量,自变量是连续变量或者混合变量而建立的模型[39-40],其回归模型如下:

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = \alpha + \sum_{n=1}^{n} \beta_i x_i \tag{2}$$

$$P = \frac{\exp\left(\alpha + \sum_{n=1}^{n} \beta_i x_i\right)}{1 + \exp\left(\alpha + \sum_{n=1}^{n} \beta_i x_i\right)} \tag{3}$$

式中,P 为事件发生概率,x 为影响概率分布的因素,α 为常数项,β 为回归系数。

关于回归模型的拟合优度,用 ROC[23,41] 方法进行检验,ROC 值越高,说明所选驱动因子具有较好解释能力,拟合效果较好。

2.4 CLUE-S 模型

CLUE-S 模型,包括非空间模块和空间模块,兼顾了景观格局驱动力因子中的自然和社会经济因素[42],非空间模块即在自然和社会经济驱动因子分析下,来计算研究区内各模拟年份景观类型的需求变化;空间模块以各驱动因子的栅格化图层为基础,根据景观类型概率与规则,对模拟年份的景观类型需求进行空间分配[43]。本研究中 CLUE-S 模型的输入内容:(1)政策限制区域:不设置受限制区域,整个研究区都可发生景观类型变化。(2)各景观类型转换规则和转换弹性系数:通过设置转移矩阵全部为 1,来定义各景观类型之间都可以实现转换。经多次模拟调试,3 种情景下的转换弹性参数如表 1 所示。(3)景观类型需求文件设置:根据不同情境对 Markov 概率矩阵进行调整,再利用线性内插法得到 CLUE-S 模型的需求文件。(4)区域位置特征与驱动因子的关系,运用 Logistic 逐步回归分析法,计算得到景观类型的空间格局与各驱动因子之间的量化关系。(5)模型检验:利用 ROC 方法[41,43]对回归效果进行检验,得到各景观类型的 ROC 值均大于 0.8,表示所选驱动因子对各景观类型都具有良好的解释能力;利用 Kappa[44] 指数检验模拟景观类型图与实际景观类型图之间的一致性,计算得到 3 种情景模拟的总体精度均达到了 75%以上。

3 结果与分析

3.1 建设用地与耕地景观时空演变分析

2000—2015 年间,高景观梯度值区间的建设用地面积显著提高,在 50—100 区间的建设用地面积比重由 3.02%猛增到 31.27%(图 3);建设用地单位面积最大增量达到 0.92km^2(图 4)。研究时段内,沪宁线沿途地区的城市周边及交通线两侧,尤其是苏州市、无锡市、常州市周边地区以及东部上海市周边的浦东新区、宝山区、

南汇区、闵行区与嘉定区等,地处水网密集的平原和长江三角洲地区,地势低平,经济发展水平较好,由于沿江发展战略和上海经济的辐射带动作用,大面积耕地被开发为建设用地[45]。耕地流向建设用地的面积达到7866.30km^2,占耕地变化量的91.61%,对建设用地增加的贡献率达到96.48%(图5)。耕地景观受到强烈干扰,面积大幅降低,景观梯度值在50—100区间的耕地面积减少量达到13939.27km^2,占流域面积比重由68.69%缩减到30.84%(图3);耕地单位面积最大缩减量达到0.95km^2(图4)。相反上海市等原有大城市中心的建设用地面积增量相对较小,这与地区原有城市化水平密切相关。西部和西南部丘陵地区,地势相对较高,致使建设用地增加量与耕地减少量低于流域其他地区。

表1 未来预测过程中不同情境下各景观类型的ELAS参数

Table 1 The ELAS of differdent landscpe types in future forecast process classification under different scenarios

景观类型 Landscape types	自然发展情景 Natural progression	生态保护情景 Ecological protection	耕地保护情景 Cultivated land protection
耕地 Cultivated land	0.5	0.5	0.8
林地 Forestland	0.7	0.9	0.7
草地 Grassland	0.6	0.8	0.6
建设用地 Construction land	0.9	0.9	0.9
水域 Waters	0.8	0.8	0.8
未利用土地 Unused land	0.3	0.3	0.3

2000年建设用地景观主要集中在以上海市为中心的地带以及苏州市、无锡市、常州市与南部杭州市附近,且占地面积较小(图3),景观梯度值在50—100区间的建设用地仅占流域面积的3.02%。除以上建设用地景观相对密集区以及西南部林地景观,其他地区为耕地景观密集区(图3),景观梯度值在50—100区间的耕地面积达到25298.06km^2,占整个流域总面积的68.69%。2010年建设用地景观有明显地空间扩展趋势,原

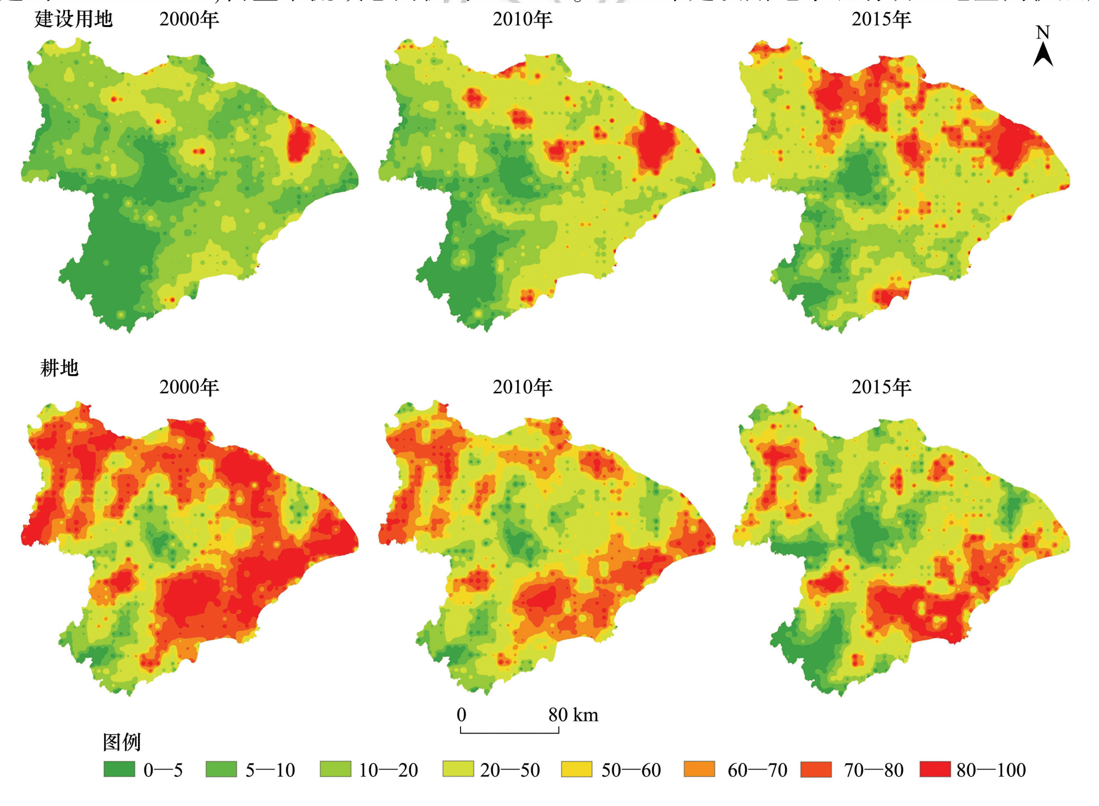


图3 太湖流域建设用地、耕地景观梯度空间分布图

Fig.3 Distribution of construction land and cultivated land landscape gradient in Taihu Lake Basin

有建设用地集聚区域规模扩大，尤其是上海市附近地区，建设用地景观梯度显著提高；同时昆山市、常熟市及江阴市地区的建设用地面积也进一步增加(图 3)。景观梯度值在 50—100 区间的建设用地达到流域总面积的 12%。2000—2010 年间，建设用地单位面积最大变化量达到 0.33—1km^2，但是由于其市中心位置城市化水平已经达到相对较高水平，导致市中心的增加量较小；流域东南部也呈现出不同程度的建设用地扩展趋势；而在中部太湖湖区以及西部与南部林区的面积增加较少(图 4)。10 年间建设用地面积增加量为 3990.78km^2，其主要来源是耕地，流域内 17.92%的耕地转变为建设用地，占耕地变化量的 85.92%，为建设用地变化量的 97.58%(图 5)。耕地单位面积最大减少量达到 0.30—1km^2(图 4)，尤其是流域北部，景观梯度降低更为明显。流域西南部则为耕地增加区，单位面积的最大增量达到了 0.62km^2，这是由于 21 世纪以来，人口数量激增，对土地的需求量剧增，导致部分林地被开垦为耕地。2015 年高建设用地景观梯度区进一步向四周扩展，同时流域内部也零星出现建设用地高度集聚区(图 3)。2010—2015 年间，沿着沪宁线的城市带交通系统日渐发达，经济突飞猛进，城市化水平提高，导致城镇周边以及交通沿线等成为太湖流域景观变化的热点区域，大面积耕地被占用开垦为建设用地，尤其是流域西北部的城市周边地区，耕地缩减最为显著，单位面积减少量达到0.31—0.69 km^2(图 4)，流域内 27.21%的耕地转变为建设用地，占耕地变化量的 94.51%(图 5)。建设用地单位面积增加量更是达到了 0.34—0.87km^2(图 4)，其主要来源仍是耕地，占建设用地变化量的 93.84%(图 5)。流域部分地区出现耕地面积扩展趋势，其中水域转化为耕地的面积达 243.70km^2，占水域变化量的 51.07%，这与《全国土地利用总体规划纲要(2006—2020 年)》[45] 的出台密切相关，纲要明确指出，苏浙沪区在规划期内要控制建设用地总量，适度降低人均城镇工矿用地面积，提高集约用地水平，严格保护水田等优质耕地。

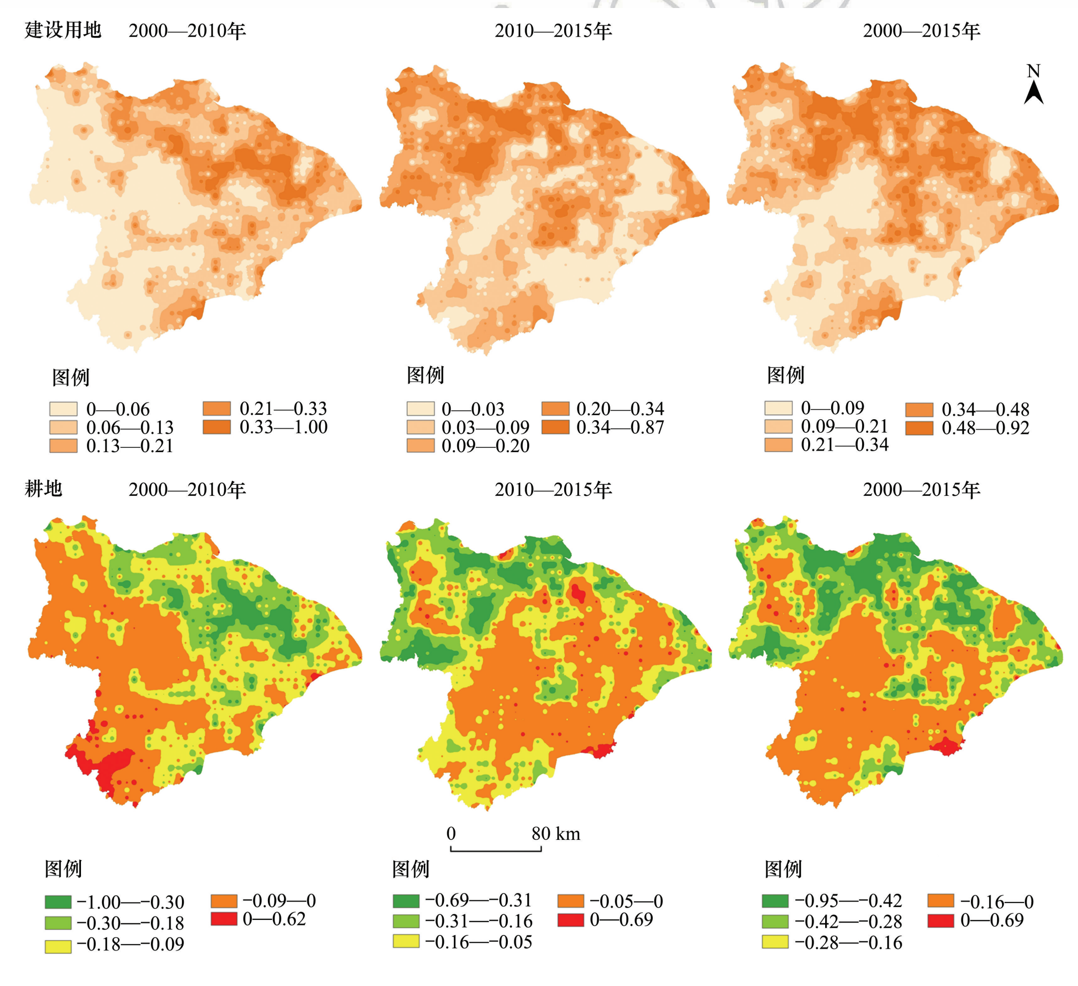


图 4　太湖流域建设用地、耕地景观变化量分布图

Fig.4　Distribution of construction land and cultivated land landscape variable quantity in Taihu Lake Basin

图例数值表示每 1km^2 范围内景观面积变化量

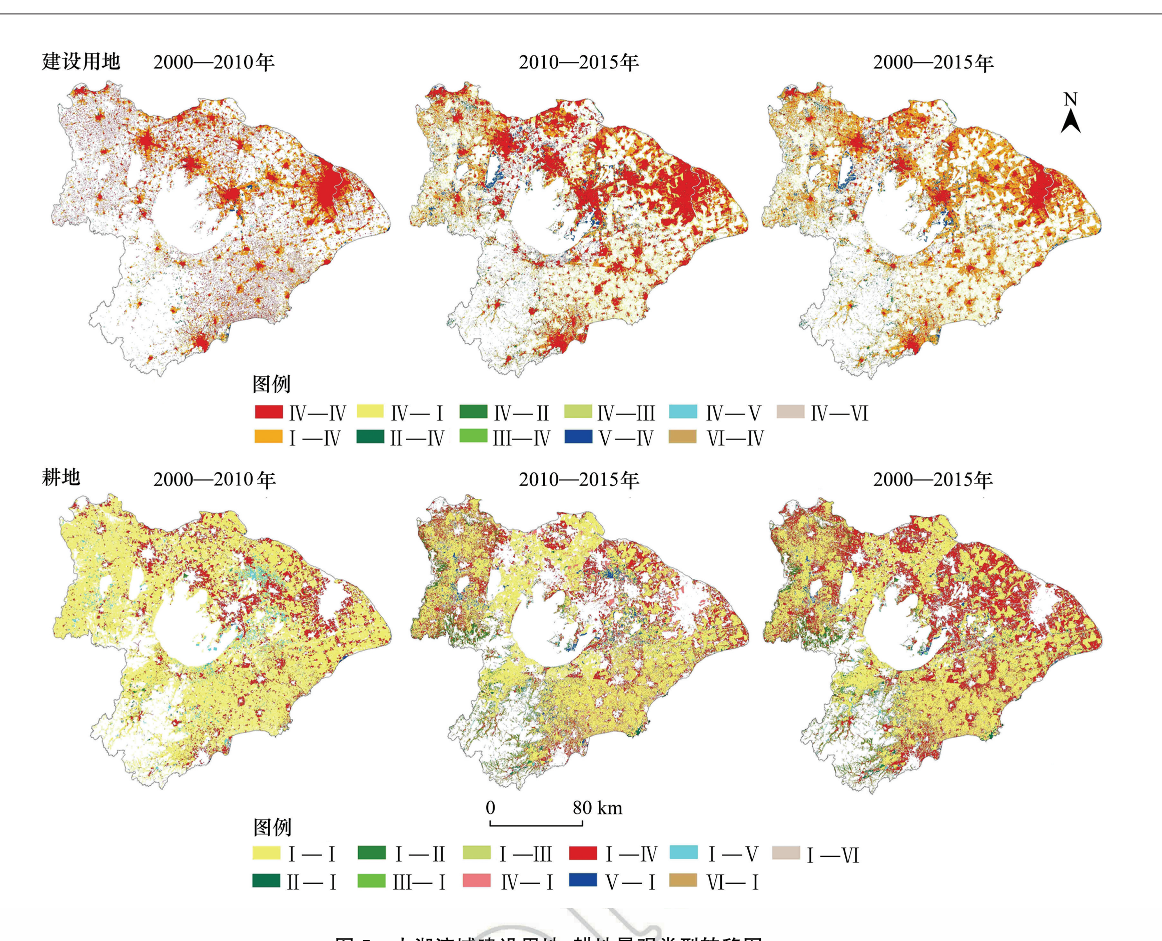


图5 太湖流域建设用地、耕地景观类型转移图

Fig.5 Distribution of construction land and cultivated land landscape transfer in Taihu Lake Basin

3.2 Logistic 驱动机制分析

利用 SPSS 软件对太湖流域 2000—2010 年、2010—2015 年两个时间段内的建设用地转入与耕地转出变化进行 Logistic 回归建模分析,并对模型拟合优度进行 ROC 检验,结果均达到 0.8 以上,可见所确定的驱动因子能较好的解释景观变化。

由表 2 中 Wald 统计量可知,第一阶段建设用地转入重要的解释变量依次为总人口变化率、距铁路距离、GDP 变化率、距县市距离;第二阶段较为重要的解释变量为总人口变化率、距高速距离、距县市距离、距河流距离及高程和坡度。总人口变化率在整个研究时段内的回归系数为正值,可见随着城市化进程的推进,大量人口涌入城镇,给城市带来巨大的承载压力,导致基础设施等建设用地面积不断增加。两个阶段中距铁路、高速距离的回归系数为负值,说明建设用地的扩展概率随着距铁路、高速公路等交通要道距离的增大而减小,交通要道带来的便捷运输条件成为经济增长的重要带动因素,区域经济增长导致建设用地面积扩增。两个时间段内距县市距离的回归系数由负值变为正值,可见 2000—2010 年间受城市辐射带动作用的影响,距离各县市中心的距离越近,建设用地扩张概率越大;而 2010—2015 年间各县市中心的周边区域早已开发为建设用地,此时建设用地的增加趋势由第一阶段的以县市为中心的内向填充式扩展,转变成以县市中心区为圆心的外扩式增加。自然因素中,高程与坡度的回归系数为负值,表明随着高程坡度的增加,其他景观类型转为建设用地的概率将会减少。

由表 3 可知,两个阶段中距铁路、高速、县道距离的回归系数都为负值,且都是较为重要的解释变量,表明重要交通要道周边的居民点、乡镇等建设用地的增加导致耕地大量减少。第一阶段中 GDP 变化率为正值,可见区域经济快速增长区的耕地面积被大量占用;此阶段中 DEM 高程的回归系数为负值,耕地转出的发生比率随高程增大而减少,表明地势低平区的耕地更有可能转变为其他景观类型;然而第二阶段中 DEM 高程的回归

系数变为正值,同时耕地转出与距河流距离也呈正相关,这主要受《全国土地利用总体规划纲要(2006—2020 年)》的影响,纲要规定苏浙沪区在规划期内要控制建设用地总量,提高集约用地水平,严格保护水田等优质耕地[45],因此,地势平坦、水网密集区的优质水田得到一定保护,而海拔较高地区及距河流一定距离区域,受工业化与城市化的影响,耕地景观的缩减更为显著。第二阶段距县市距离的回归系数为正值,表明前期建设用地以县市为中心的内向填充式扩展已占用了大部分耕地,此阶段以县市中心区为圆心的外扩式增加,使距离县市较远区域的耕地转出机率增大。

表 2　建设用地变化的 Logistic 回归模型拟合结果

Table 2　The results of logistic regression for construction land

时间段 Time	自变量 Independent variables	回归系数 Regression coefficient	Wald 统计量 Wald statistic	时间段 Time	自变量 Independent variables	回归系数 Regression coefficient	Wald 统计量 Wald statistic
2000—2010 年	高程	—	—	2010—2015 年	高程	-0.00267 **	5.140
	坡度	—	—		坡度	-0.03530 **	2.838
	GDP 变化率	0.00001 **	6.658		GDP 变化率	—	—
	总人口变化率	0.00003 **	16.920		总人口变化率	0.00002 **	28.215
	距县市距离	-0.00001 **	5.498		距县市距离	0.00002 **	23.616
	距铁路距离	-0.00009 **	7.637		距铁路距离	—	—
	距高速距离	—	—		距高速距离	-0.00001 **	25.142
	距县道距离	—	—		距县道距离	—	—
	距河流距离	—	—		距河流距离	0.00002 **	22.107
	常量	0.38283 **	27.338		常量	-0.26236 **	65.281

* * : $P<0.01$; —: 自变量统计检验不显著

表 3　耕地变化的 Logistic 回归模型拟合结果

Table 3　The results of logistic regression for cultivated land

时间段 Time	自变量 Independent variables	回归系数 Regression coefficient	Wald 统计量 Wald statistic	时间段 Time	自变量 Independent variables	回归系数 Regression coefficient	Wald 统计量 Wald statistic
2000—2010 年	高程	-0.00035 **	11.98	2010—2015 年	高程	0.00019 **	8.773
	坡度	—	—		坡度	—	—
	GDP 变化率	0.00002 **	6.965		GDP 变化率	—	—
	总人口变化率	—	—		总人口变化率	—	—
	距县市距离	—	—		距县市距离	0.00002 **	94.463
	距铁路距离	-0.00001 **	31.468		距铁路距离	-0.00001 **	149.575
	距高速距离	-0.00001 **	9.476		距高速距离	-0.00008 **	22.371
	距县道距离	-0.00004 **	8.978		距县道距离	—	—
	距河流距离	—	—		距河流距离	0.00002 **	58.223
	常量	0.12049 **	4.096		常量	-0.67244 **	18.801

* * : $P<0.01$; —: 自变量统计检验不显著

3.3　不同模拟情境下两种景观类型时空演变分析

对于 3 种不同情境下的模拟,在参考了相关修改 Markov 转移概率矩阵的研究成果[45-46]下进行。自然发展情景按照太湖流域 2000—2010 年的景观变化趋势发展,假设 2010—2030 年间各景观类型变化不受较大程度政策干扰,将 2000—2010 年景观类型面积转移矩阵作为 Markov 模型概率转移矩阵元素;生态保护情景以保护生态环境为原则发展,太湖流域作为生态环境建设示范区,应加强对林地、草地和水体等生态用地的保护,将耕地向建设用地转移概率减少 25%,减少的 25%加到耕地转草地之上,草地、林地、水体向建设用地转移概率均降低 90%;耕地保护情景参考《全国土地利用总体规划纲要》发展,严格控制建设用地占用耕地,将

耕地向建设用地转移概率减少 50%,耕地向水体转移概率降低 25%。通过以上转移概率矩阵修改,得到 2030 年不同模拟情境下的建设用地与耕地景观梯度空间分布图(图 6)。

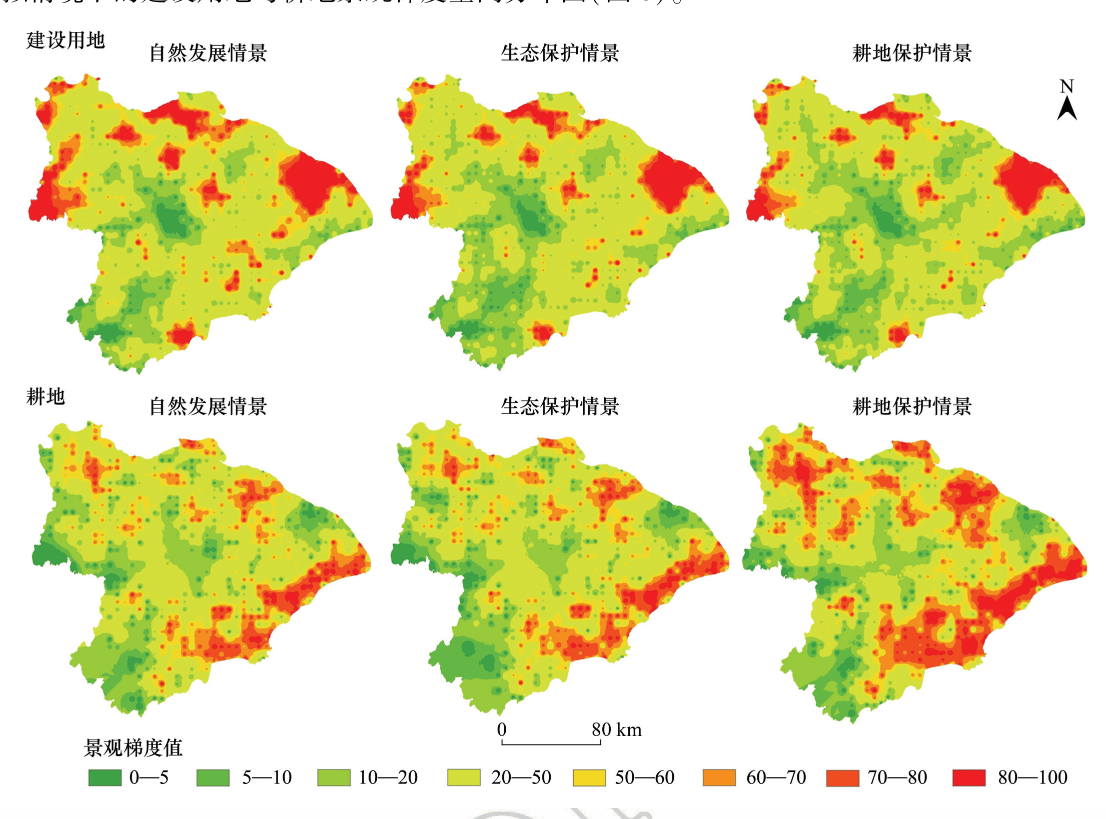


图 6　3 种模拟情景下 2030 年太湖流域建设用地、耕地景观梯度空间分布图

Fig.6　Distribution of construction land and cultivated land landscape gradient in 2030 under different scenarios

3 种不同模拟预测情景下,建设用地与耕地景观时空演变存在着显著差异。自然发展情境下 2030 年景观梯度值在 5—20 区间的建设用地面积明显小于生态保护情景与耕地保护情景,仅占研究区面积的 18.62%;景观梯度值在 50—100 区间的建设用地面积达到了 12713.85km^2,占研究区的面积比重达到 34.52%,其他情景下高景观梯度值区间的建设用地面积相对较少。自然发展情景下耕地减少量最大,达到 3366.62km^2,且在流域东南与西部地区流失较多;建设用地增加量最大,达到 2942.06km^2,其扩增主要在西部与西南部的句容市、金坛市、溧阳市、高淳县、安吉县与临安县等发展潜力较大的地区。

生态保护情景下 2030 年建设用地的增加幅度明显降低,仅以 0.62%的速度增加了 1102.78km^2;耕地仍保持大幅度降低,但是高景观梯度值区间的耕地面积略高于自然发展情景下的耕地面积,两者差异不大。草地面积猛增;林地变化趋势与其他两种情景相反,呈增加趋势;水域在此情景下的面积增幅最大。

耕地保护情景下,建设用地仅以 0.18%的速度增加了 315.82km^2,景观梯度值在 50—100 区间的面积比重仅有 18.59%。耕地景观梯度值相对较高,在 50—100 高景观梯度值区间的面积为 16022.37km^2,占整个流域的面积比重高达 43.51%;耕地景观梯度值在 0—5 区间内的区域,为耕地最小面积分布区,仅占流域面积的 1.83%。耕地仅以 0.28%的速度减少了 637.55km^2,尤其是常州市、无锡市、苏州市与昆山市城镇周边与沪宁线沿线地区的耕地得到了有力保护。

通过不同情景模拟预测,可见采取相应的耕地保护措施,切实控制建设用地占用耕地,能够有效减少耕地流失;同时加强生态环境建设,能够较好地保持生态用地数量,更好地提供生态服务功能。未来太湖流域应提高集约用地水平,严格保护优质耕地,控制建设用地增量,做好规划调整,切实加强生态环境保护,更好地协调经济发展与生态建设。

4　结论与讨论

以 2000、2010、2015 年 3 期土地利用数据为数据源,借助格网化技术、景观梯度、Logistic 回归模型及 CLUE-S 模型,对太湖流域 2000—2015 年间及 2030 年不同模拟预测情景下的建设用地与耕地景观时空演变特征及驱动机制进行了分析,得到以下结论及讨论:

(1)2000—2015 年间,流域内建设用地景观面积增加与耕地景观面积缩减趋势明显。沪宁线沿途地区的城市周边及交通线两侧,尤其是苏州市、无锡市、常州市以及上海市周边地区,由于沿江发展战略和上海经济的辐射带动作用,大面积耕地被开发为建设用地。建设用地单位面积最大增量达到 0.92km^2,高景观梯度值在 50—100 区间的建设用地面积比重由 3.02%猛增到 31.27%;而景观梯度值在 50—100 区间的耕地面积比重由 68.69%缩减到 30.84%,耕地单位面积最大减少量达到 0.95km^2;其中耕地流向建设用地的面积达到 7866.30km^2,占耕地变化量的 91.61%,对建设用地增加的贡献率达到 96.48%。近 15 年来,原有大城市中心以及西部和西南部丘陵地区,动态变化幅度相对较小。

(2)建设用地转入与耕地转出在不同阶段的驱动因素具有一定差异性,其变化受自然环境与社会经济因素的交叉影响,后者影响相对更为显著。两个阶段中总人口变化率及距铁路、高速等交通要道的距离都是建设用地转入的重要驱动因子;但是与距县市距离的相关性,随建设用地扩展模式的转变由负相关变为正相关。两个阶段中耕地转入受距铁路、高速距离等驱动因素的影响较大,与 DEM 高程的回归系数由负值变为正值。

(3)基于 CLUE-S 模型的 3 种预测情景下,2030 年建设用地与耕地景观时空演变存在着显著差异。自然发展情景下,高景观梯度值区间的建设用地面积最大,耕地转出量与建设用地转入量最大;生态保护情景下,建设用地增幅明显降低,但耕地仍保持大幅缩减,多转为生态用地,导致草地面积猛增;耕地保护情景下,建设用地占用耕地的情况得到有效改善,高景观梯度值区间的耕地面积达到整个流域的 43.51%,耕地仅以 0.28%的速度减少了 637.55km^2。

(4)从格网角度进行景观时空演变分析,弥补了以流域平均值来表达整个流域景观分布的不足,但是不同格网大小下分析结果的差异性有待进一步探讨。由于数据获取的限制性,驱动因子指标体系的精度与全面性尚需提高与完善,如何综合政策实施、价值观念及其他动态驱动因子构建驱动力动态变化模型是进一步研究的重点。参考太湖流域面积,CLUE-S 模拟尺度设置为 300m×300m,通过 ROC 值检验,模拟效果较好。模拟尺度的不同,导致结果精度存在差异,尺度越小数据量越大,往往产生运算时间过长、数据报错的影响;尺度过大则会使驱动因子影响降低,导致精度下降,如何选择适宜模拟尺度有待深入研究。

参考文献(References):

[1]　孙才志, 闫晓露, 钟敬秋. 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局. 生态学报, 2014, 34(2): 247-257.

[2]　阳文锐. 北京城市景观格局时空变化及驱动力. 生态学报, 2015, 35(13): 4357-4366.

[3]　郑新奇, 付梅臣. 景观格局空间分析技术及其应用. 北京: 科学出版社, 2010: 1-2.

[4]　刘颂, 郭菲菲, 李倩. 我国景观格局研究进展及发展趋势. 东北农业大学学报, 2010, 41(6): 144-152.

[5]　张敏, 宫兆宁, 赵文吉, 阿多. 近 30 年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制. 生态学报, 2016, 36(15): 4780-4791.

[6]　肖笃宁. 国际景观生态学研究的最新进展——第五届景观生态世界大会介绍. 生态学杂志, 1999, 18(6): 75-76.

[7]　陈利顶, 刘洋, 吕一河, 冯晓明. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来. 生态学报, 2008, 28(11): 5521-5531.

[8]　唐利, 邵景安, 郭跃, 邓华, 薛沛沛. 社区水平森林景观格局动态特征与驱动因素. 生态学报, 2017, 37(6): 2101-2117.

[9]　赵小汎, 代力民, 陈文波, 于大炮, 周莉. 耕地与建设用地变化驱动力比较分析. 地理科学, 2008, 28(2): 214-218.

[10]　姜广辉, 张凤荣, 吴建寨, 周丁扬, 宫攀, 苏子友. 北京山区建设用地扩展及其与耕地变化关系研究. 农业工程学报, 2006, 22(10): 88-93.

[11]　Li C X, Wu K N, Wu J Y. Urban land use change and its socio-economic driving forces in China: a case study in Beijing, Tianjin and Hebei region. Environment Development and Sustainability, 2017, doi: 10.1007/s10668-017-9928-6.

[12]　He C Y, Li J G, Wang Y Y, Shi P J, Chen J, Pan Y Z. Understanding cultivated land dynamics and its driving forces in northern China during

1983-2001. Journal of Geographical Sciences, 2005, 15(4): 387-395.
[13] 孔静静, 魏建新. 乌鲁木齐市近 16 年建设用地和耕地变化驱动力比较分析. 水土保持研究, 2014, 21(4): 101-106.
[14] 居玲华, 石培基, 邴广路, 周生超. 张掖绿洲耕地和建设用地变化驱动力比较研究. 水土保持通报, 2009, 29(5): 156-159.
[15] 吕志强. 快速城市化背景下的建设用地扩展类型格局及驱动力分析. 水土保持研究, 2012, 19(4): 65-71.
[16] 张景华, 吴志峰, 吕志强, 高杨. 城乡样带景观梯度分析的幅度效应. 生态学杂志, 2008, 27(6): 978-984.
[17] 赵志轩, 张彪, 金鑫, 翁白莎, 严登华, 鲍淑君. 海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系. 生态学报, 2011, 31(7): 1925-1935.
[18] 白元, 徐海量, 刘新华, 凌红波, 傅荩仪. 塔里木河干流景观格局梯度分析. 干旱区研究, 2013, 30(6): 1064-1072.
[19] 李俊祥, 王玉洁, 沈晓虹, 宋永昌. 上海市城乡梯度景观格局分析. 生态学报, 2004, 24(9): 1973-1980.
[20] Zhang L Q, Wu J P, Zhen Y, Shu J. RETRACTED: a GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China. Landscape and Urban Planning, 2004, 69(1): 1-16.
[21] Shrestha M K, York A M, Boone C G, Zhang S N. Land fragmentation due to rapid urbanization in the Phoenix Metropolitan Area: analyzing the spatiotemporal patterns and drivers. Applied Geography, 2012, 32(2): 522-531.
[22] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题. 地理科学, 2003, 23(3): 264-270.
[23] 荣子容, 马安青, 王志凯, 周凯. 基于 Logistic 的辽河口湿地景观格局变化驱动力分析. 环境科学与技术, 2012, 35(6): 193-198.
[24] 徐嘉兴, 李钢, 陈国良. 基于 logistic 回归模型的矿区土地利用演变驱动力分析. 农业工程学报, 2012, 28(20): 247-255.
[25] 周锐, 苏海龙, 王新军, 李月辉, 胡远满, 张凤娥, 许博涵. CLUE-S 模型对村镇土地利用变化的模拟与精度评价. 长江流域资源与环境, 2012, 21(2): 174-180.
[26] 许月卿, 罗鼎, 郭洪峰, 周东. 基于 CLUE-S 模型的土地利用空间布局多情景模拟研究——以甘肃省榆中县为例. 北京大学学报: 自然科学版, 2013, 49(3): 523-529.
[27] 梁友嘉, 徐中民, 钟方雷. 基于 SD 和 CLUE-S 模型的张掖市甘州区土地利用情景分析. 地理研究, 2011, 30(3): 564-576.
[28] 王日明, 熊兴耀, 肖洋. 重庆市永川区土地利用空间格局变化模拟. 中国农学通报, 2014, 30(35): 166-171.
[29] 徐嘉兴, 王继尧, 梁涛, 唐翔. 近 18 年太湖流域土地利用变化及区域差异分析. 地理空间信息, 2009, 7(4): 48-51.
[30] 万荣荣, 杨桂山. 太湖流域土地利用与景观格局演变研究. 应用生态学报, 2005, 16(3): 475-480.
[31] 中华人民共和国国土资源部. TD/T 1014—2007 第二次全国土地调查技术规程. 北京: 中国标准出版社, 2007.
[32] 薛亮, 任志远. 基于格网 GIS 的关中地区生态安全研究. 地理科学, 2011, 31(1): 123-128.
[33] 姚永慧, 张百平, 罗扬, 朱军, 岑纲. 格网计算法在空间格局分析中的应用——以贵州景观空间格局分析为例. 地球信息科学, 2006, 8(1): 73-78.
[34] 苏海民, 何爱霞. 基于 RS 和地统计学的福州市土地利用分析. 自然资源学报, 2010, 25(1): 91-99.
[35] 左伟, 张桂兰, 万必文, 李硕, 王桥. 中尺度生态评价研究中格网空间尺度的选择与确定. 测绘学报, 2003, 32(3): 267-271.
[36] 王宗明, 陈铭, 宋开山, 刘殿伟, 张柏, 李方, 张树清. 三江平原别拉洪河流域湿地农田化过程中湿地——农田景观梯度时空特征分析. 水土保持学报, 2008, 22(1): 194-198.
[37] 武慧智, 姜琦刚, 李远华, 崔剑, 冯涛. 松嫩流域湿地景观动态变化. 吉林大学学报: 地球科学版, 2015, 45(1): 327-334.
[38] 陈芝聪, 谢小平, 白毛伟. 南四湖湿地景观空间格局动态演变. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3316-3324.
[39] 李洪, 宫兆宁, 赵文吉, 宫辉力. 基于 Logistic 回归模型的北京市水库湿地演变驱动力分析. 地理学报, 2012, 67(3): 357-367.
[40] 谢花林, 李波. 基于 logistic 回归模型的农牧交错区土地利用变化驱动力分析——以内蒙古翁牛特旗为例. 地理研究, 2008, 27(2): 294-304.
[41] Pontius R G Jr, Schneider L C. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 85(1/3): 239-248.
[42] 冯仕超, 高小红, 顾娟, 亢健, 郭丽峰, 吴国良, 邹婵. 基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟. 生态学报, 2013, 33(3): 985-997.
[43] 张永民, 赵士洞, Verburg P H. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用. 自然资源学报, 2003, 18(3): 310-318.
[44] Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measurement, 1960, 20(1): 37-46.
[45] 陆汝成, 黄贤金, 左天惠, 肖思思, 赵小风, 张兴榆. 基于 CLUE-S 和 Markov 复合模型的土地利用情景模拟研究——以江苏省环太湖地区为例. 地理科学, 2009, 29(4): 577-581.
[46] 周锐, 苏海龙, 王新军, 李月辉, 胡远满, 许博涵. 基于 CLUE-S 模型和 Markov 模型的城镇土地利用变化模拟预测——以江苏省常熟市辛庄镇为例. 资源科学, 2011, 33(12): 2262-2270.